

## スイート・コーンの胚、胚乳の糖及び デンプン含量の収穫後における変化

山 本 喜 啓  
(食品学第Ⅱ研究室)

### Changes in Sugar and Starch Content of Sweet Corn Embryo and Endsperm after Harvest

Yoshihira YAMAMOTO

#### 1. 諸 言

スイートコーンは、収穫の後数時間で甘味が低下するため、一般家庭では本来の味を賞味することがはなはだ難しい。この甘味低下の原因として、万豆<sup>7)</sup>並びに建石<sup>10)</sup>らはデンプンあるいはフィトグリコーゲンの生成があり、シュクロースその他の遊離糖がこの合成に利用されるからだとしている。本研究室でも、吉田<sup>11)</sup>がハニーバンタム種で非還元糖並びに還元糖含量が低下し、その一方でデンプンのそれが増加することをみている。

甘味が糖の種類とその含量に支配されることは明白なことである。しかし、その糖の含量低下がデンプンなどの多糖類合成にあるとするには疑問の余地がある。収穫は器官を植物体から分離する行為であり、茎葉から器官への養水分の供給が途絶えることを意味する。すなわち、登熟中で生理活性の高い種実といえども、養水分の供給が絶たれた器官で多量の生体エネルギーを必要とする合成反応が促進されるであろうか。

そこで、生理的機能を異にする胚と胚乳を同一に扱う危険を避け、ハニーバンタム種を用い、両器官それぞれの糖並びにデンプン含量の収穫後での変化を調査し、甘味低下の原因を推察した。

#### 2. 材料及び方法

収穫後における種実の甘味低下を確かめるとともに、胚、胚乳それぞれの糖並びにデンプン代謝への関りを明らかにすべく以下の方法で調査した。

試料は、抽糸後30日(1987.7.14)前後の収穫適期に採取したハニーバンタム種(サカタ種苗)の10~15列目に着生する種実である。収穫後直ちに種実を鞘から外し、1)種実そのものの健全区と2)胚と胚乳を分離した分離区を設け、25℃の室温に置き、収穫時とその24時間後に胚、胚乳それぞれの新鮮重、乾物重、水分含量、糖及びデンプン含量を調査した。新鮮重、乾物重及び水分含量は常法により、糖並びにデンプンは試料を-20℃で凍結保存し次の方法にて定量した。糖は80%エタノール抽出後TMS化してGLCにより、デンプンは糖抽出後残渣を70%温水(以下温水分画とする)、沸騰水(以下熱水分画とする)および52%過塩素酸(以下PCA分画とする)で順次抽出してアンスロニー硫酸法により定量した。さらに、デンプンの水可溶分画は630~400nmでI<sub>2</sub>-KIによる最大吸収波長を求めた。

#### 3. 結 果

収穫後24時間において、胚、胚乳とも乾物重は収穫時と全く差異はなかったが、新鮮重並びに水分含

量が低下した。その結果を第1表に示した。

第1表 胚、胚乳の新鮮重、乾物重及び水分含量

器 官	採取時間	処理区	新 鮮 重	乾 物 重	水分含量
胚	収 穫 時		15.2	7.0	53.9
		健全区	15.2	6.9	54.6
	24時間後	分離区	8.6	6.2	27.9
胚乳	収 穫 時		35.5	15.9	55.2
		健全区	34.4	15.8	54.0
	24時間後	分離区	27.3	16.0	41.4

註：新鮮重、乾物重は種実100個当りのg数。  
水分含量はパーセント。

分離区では両器官とも水分含量の低下が著しく、特に胚は収穫後24時間で27.9%の水分含量となった。胚、胚乳とも収穫後での乾物重低下はなく、両器官での収穫後の新鮮重低下は蒸散による水分消失と考えられる。

そこで、糖並びにデンプン含量の収穫後での変化から胚あるいは胚乳における炭水化物代謝を検討しようとする試みでは、乾物重を基準として含量を求めるのが妥当であろう。

胚並びに胚乳で検出した糖は、収穫時とその24時間後ともシュクロース、グルコース及びフラクトースで、その含量を第2表に示した。グルコース、フラクトースとも胚と胚乳あるいは収穫時とその24時間後の両処理区のそれぞれの間での含量差はなく、グルコース100.1mg/100g.DW、

フラクトース150mg/100g.DW程度であった。

シュクロースは、収穫時で胚1000.0mg/100g.DW、胚乳371.3mg/100g.DWと他の糖に比べ明らかに含量が高く、胚は胚乳の約3倍の含量であった。しかし、シュクロースは両器官とも収穫後では含量が低下し、24時間後には分離区に比べ健全区での低下が目立った。

胚並びに胚乳の各デンプン分画の含量を第3表に示した。デンプンは貯蔵器官である故に胚に比べ胚乳の含量が高く、総デンプン含量は収穫時の胚乳4704.2

mg/100g.DW、胚962.7mg/100g.DWであった。そのうち、PCA分画の占める割合が高く胚乳85.1%、胚68.9%であった。ところが、収穫後の24時間において両器官の総デンプン含量は健全区、分離区とも明らかに低下した。しかも、各デンプン分画のこの24時間での消長に各器官で健全区と分離区との間で著しい差異を示した。まずPCA分画についてみると、胚では健全区に比べ分離区で、胚乳では分離区に比べ健全区でその含量が著しく低下し、それぞれ33.7%、28.1%の低下率であった。また、水可溶の温水並びに

熱水分画では胚と胚乳で含量の増減に全く相反する様相を示した。すなわち、胚は両処理区とも温水分画の増加、熱水分画の減少があった。一方、胚乳では温水分画は両処理区とも減少し特に健全区は53.9%の減少率を示し、熱水分画は両処理区とも収穫時の約5.4倍となった。また、水可溶の各分画の最大吸収波長は、温水分画575.4nm、熱水分画600.2nmであった。

#### 4. 考 察

トウモロコシ種実の糖並びにデンプン含量の収穫後における変化を調査し、胚並びに胚乳の生理的機能を推察した。やはり、スイートコーンでは収穫後に甘味の低下が起ることは事実であった。しかし、

第2表 胚、胚乳のグルコース、フラクトース及びシュクロース含量

器 官	採取時間	処理区	グ ル コース	フラク トース	シュク ロース	総 計
胚	収 穫 時		103.0	149.0	1000.0	1352.0
		健全区	102.4	145.2	753.6	1001.2
	24時間後	分離区	103.8	184.2	962.1	1250.1
胚乳	収 穫 後		100.1	150.8	371.3	622.2
		健全区	104.5	146.2	282.3	533.0
	24時間後	分離区	103.0	149.2	325.7	577.9

註：数値は乾物100g当りのmg数

GLCの条件

- 1) 10%SE-30, クロモソープ60~80mesh
- 2) 2%OV-17, クロモソープ60~80mesh

温度：カラム130~230℃, 昇温10℃/min

注入口230℃, FID 230℃

流速：N<sub>2</sub>, 60ml/min, H<sub>2</sub> 30ml/min, air 1ℓ/min

第3表 胚、胚乳の各デンプン分画含量

器 官	採取時間	処理区	温水分画	熱水分画	PCA分画	総 計
胚	収 穫 時		32.4	267.1	663.2	962.7
		健全区	52.7	157.2	610.8	820.7
	24時間後	分離区	60.3	180.8	439.5	681.0
胚乳	収 穫 後		598.4	103.7	4002.1	4704.2
		健全区	275.9	539.8	2882.0	3597.7
	24時間後	分離区	451.6	548.0	3347.0	4346.6

註：数値は乾物100 g当りのmg数

デンプン含量は増加せず、万豆<sup>7)</sup>、建石ら<sup>9)</sup>及び吉田<sup>11)</sup>とは異なる結果を得た。これは前記3氏らが含量の換算基準を新鮮重としたのに対し、本報告ではそれを乾物重としたことによる違いである。デンプン含量の低下以上に水分消失が多くなると、新鮮重を基準とした場合にはその含量が増加したごとくみえる。

デンプンの消長について、健全区と分離区との比較により、胚盤上皮細胞の機能に関する興味ある結果が得られた。種子の発芽の場合ではあるが、胚乳のデンプン分解に関しては胚乳外側の糊粉層から $\alpha$ -アミラーゼないし $\beta$ -グルコシダーゼが分泌され、そしてデンプンが分解されると従来から理解されていた。しかし、OKAMOTOらはイネで、DUREはトウモロコシで胚盤上皮細胞が酵素蛋白を合成し、胚乳へそれを分泌してデンプンの分解が起るとした。胚、胚乳とも健全な状態にある健全区で、総デンプン含量並びにデンプンの大部分を占めるPCA分画含量が収穫後で低下し、しかも、胚乳では分離区に比べ健全区で特に含量低下が大きかった。このことは、胚乳デンプンの分解に胚と胚乳の間に介在する胚盤上皮細胞が関与していることを示唆するものであろう。

また、糊化温度より高い温度で水処理すると直鎖成分の大部分を抽出することができ、温度を上げるとともに収量が多くなり、分子量も大きくなる<sup>8)</sup>。従って、温水分画は比較的低分子の直鎖成分、熱水分画は若干分岐したものも含む分子量の大きな直鎖分子と考えることができる。そして、PCA分画はアミロペクチンを主体とした高分子成分であろう。すなわち、温水分画が575.4nm、熱水分画が600.2nmで最大吸収を示し、大橋の報告<sup>3)</sup>から推定するとそれぞれ40並びに60の重合度であるといえる。デンプンの分解即ち低分子化の経過からみて、熱水分画はPCA

分画あるいは熱水分画の分解に由来し、熱水分画はPCA分画の分解並びに低分子直鎖の再重合に由来すると推測でき、収穫後での含量増減があるのは当然であろう。PCA分画は分解により低分子化され、収穫後ではその含量が低下するのみと考えられる。

そこで、この各デンプン分画に加えて糖の収穫後24時間で

の含量変化から、胚並びに、胚乳の機能とその活性を推察してみる。まず胚についてみると、分離区の胚では、PCA分画の分解は健全区以上であるが熱水分画の分解は進まず、また、フラクトースがプールされシュクロースの分解が抑制されている。これは分離区の胚はPCA分画の分解により生理活性の維持を図ろうとしたが、水分含量が低下するとともに生理活性が低下し、休眠に類似した状態となったと考えられる。一方、健全区の胚ではシュクロースの分解は分離区以上であるが、グルコース、フラクトースとも収穫時の含量が維持され、デンプンもPCA分画で分離区に比べその分解が明らかに抑制されている。これは、胚が胚乳からのシュクロースまたはグルコースの転流によって胚自体のデンプンの消耗を抑えていることを示すものであり、健全区の胚は生理活性を収穫後24時間でも維持していると考えられる。次に胚乳についてみると、胚乳では健全区は分離区に比べPCA分画の分解が促進され、同時に温水分画でも健全区の含量低下が著しい。シュクロースでもデンプン分画と同様のことがいえ、収穫後において胚乳から胚へのデンプン分解物の転流があることは明らかである。従って、胚、胚乳とも生理活性を維持し、胚乳ではデンプンがグルコースにまで分解され、また、シュクロースの合成もあり、これらが胚へ転流されるのであろう。いずれにしても、収穫後の種実では胚と胚乳はSink（胚）とSource（胚乳）の関係にあるといえる。

胚との細胞連絡を絶たれ、シンプラストが崩壊した胚乳では、デンプンの消長は健全区に比べ小さく、また、シュクロースの分解も抑制されている。これは、胚乳でのデンプン分解が胚により抑制されている可能性を示唆するものである。胚からの情報が胚盤上皮細胞へ伝えられ、そこで加水分解酵素の合成・

分泌があり、そして胚乳のデンプンが分解される可能性があるのかもしれない。登熟中の種実が植物体から分離される収穫は、種実の完熟・休眠をもって生育相の完了とする生命体にとって偶発的な緊急事態といえる。そうした場合、器官あるいは組織は敏感に反応し、通常と異なる代謝経路を形成して完熟を全うしようとするのであろう。種実の完熟は、まず胚の生育完了即ち幼芽、幼根などの器官原基の形成と次代への情報の集積の完了といえる。従って、完熟途上で茎葉からの物質供給の停止によって、胚が胚乳に物質の供給をもとめることは十分に考えられる。このことは、収穫後わずか24時間でデンプン含量が低下し、その組成も胚と胚乳で著しく異なることから推察される。また、胚乳細胞のアミロプラストに $\beta$ -アミラーゼと蛋白質の複合体がデンプン顆粒と結合して存在するとの報告も興味あるところである。

近年、青果物生産ではF<sub>1</sub>種子の利用が盛んであり、トウモロコシはその典型ともいえる。種々の劣性遺伝子のF<sub>1</sub>交雑種での発現が期待されている。そのため、糖あるいはデンプンの蓄積に遺伝的要因に基づく通常と異なる代謝経路が存在する可能性がある。いずれにしても、スイートコーンの収穫後の甘味低下は、収穫時の胚の生理的完熟度との関連が深いといえる。

## 5. 摘 要

1) ハニーバンタム種を用い、収穫後での甘味低下を検討した。やはり、収穫後24時間でさえ糖含量が低下した。糖はシュクロース、グルコース及びフラクトースであったが、含量低下の主体はシュクロースであった。

2) 胚並びに胚乳でデンプンの消長には、器官による違いがあった。総デンプン含量は胚、胚乳とも収穫後24時間で明らかに低下し、その主体はPCA分画であった。胚ではPCA分画の低下はあるものの、その低下率は小さく、一方、胚乳ではPCA分画、温水分画の低下が著しかった。

3) 糖並びに各デンプン分画の収穫後の含量変化から、胚は生理活性を収穫後でも維持し、胚乳でのデンプン分解を制御しているようであった。種実の糖ならびにデンプンの含有量の大部分は胚乳にあるが、その消長に胚が関与している。そのため、胚の完熟度がスイートコーンの甘味低下に著しく影響していると考えられる。

## 6. 引用文献

- 1) OKAMOTO, K., et al. : Plant. Physiol., 63, 336 (1979)
- 2) OKAMOTO, K., et al. : Plant. Physiol., 65, 81 (1980)
- 3) 大橋一二 : 農化誌, 33, 576 (1959)
- 4) DURE, L. S. : Plant. Physiol., 35, 923 (1979)
- 5) GREECH, R. G. : Adv. Agron., 20, 275 (1968)
- 6) 不破英次 : 澱粉科学, 20, 120 (1973)
- 7) 万豆剛一 : 農及園, 40, 1271 (1965)
- 8) 中村道徳 : 澱粉科学ハンドブック, 8. 朝倉書店 (1980)
- 9) 佐藤滋樹 : 農及園, 56, 217 (1981)
- 10) 建石耕一 他 : 日食工誌, 33, 592 (1986)
- 11) 吉田真理子 : 島短大特研抄, (1987)

(昭和62年10月31日受理)